

人行桥人致振动问题产生的原因：

人行桥振动与步频激励是一个动力相互作用的过程，行人受振动影响可能导致一定比例的同步行走而引起更大的桥梁振动。在人行荷载激励作用下，当人行桥的自振频率落在人行激励基频（2Hz）或高阶频率（4Hz，6Hz）附近时，人行桥就可能发生共振，影响行人舒适感以及桥梁的适用性和安全性，甚至引起行人恐慌。

目前减振措施所采取的方法：

对于人行桥振动舒适性评价方法及标准，欧美规范中对人行桥的振动使用性规定各有不同。针对人行桥人致振动形成的机理和条件，工程中应用最为广泛的减振方法是阻尼减振法，该减振方法属于被动控制；被动控制不需要提供外部能量，而通过减震、隔震装置来消耗振动能量，同时阻止振动在结构中的传播，它具有构造简单、造价低、易于维护且无需外界能源支持等优点而被广泛应用。被动控制主要包括基础隔震、耗能减震和调谐减震。调频质量阻尼器（TMD）、橡胶阻尼器、油阻尼器、粘滞剪切型阻尼器均属于被动控制的范畴。

欧美人行桥设计规范部分内容：

法国公路和高速公路研究所规范SETRA建议的竖向振动加速度界限如表2所示，室外人行桥人行舒适性类别应达到CL1类，最大竖向加速度为 $0.5m/s^2$ 。

| 舒适性类别 | 舒适性  | 竖向加速度限值<br>( $m/s^2$ ) | 侧向加速度限值<br>( $m/s^2$ ) |
|-------|------|------------------------|------------------------|
| CL1   | 最好   | <0.50                  | <0.10                  |
| CL2   | 中等   | 0.50-1.00              | 0.10-0.30              |
| CL3   | 差    | 1.00-2.50              | 0.30-0.80              |
| CL4   | 不可接受 | >2.50                  | >0.80                  |

欧美人行桥设计规范部分内容：

德国人行桥设计指南中规定，计算人行荷载时采用由傅里叶级数表示的荷载展开式，竖向动载因子 $\alpha_v$ 可取为0.4，行人的标准体重取为700N，则 $\alpha_v G$ 为：

$$\alpha_v G = 280N$$

人群荷载等效行人数 $N_e$ 与桥上人流的密集程度有关。当人群密度很小时，人群相当于自由行走。然而在高密度人流情况下时，行人行走阻塞，人流向前移动速度减缓而同步调概率增大，此时等效行人数量的计算方法与小密度人群时有所不同。指南中规定，

$d < 1$ 人/ $m^2$ 时：

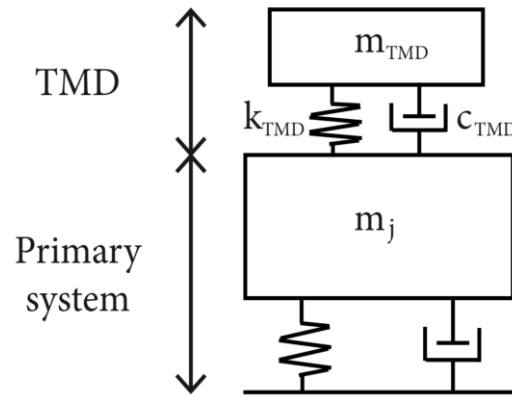
$$N_e = 10.8\sqrt{\xi S d}$$

$d \geq 1$ 人/ $m^2$ 时：

$$N_e = 1.85\sqrt{S d}$$

## TMD设计理论基础

调频质量阻尼器（Tuned Mass Damper, TMD）附加在单自由度结构上的工作原理如图3所示，减振系统属于被动控制。



那么，安装TMD装置后的主结构第n阶振型对应的单自由度运动方程和TMD的运动方程为：

$$M_n \ddot{Y}_n(t) + (C_n + C_d) \dot{Y}_n(t) + (K_n + K_d) Y_n(t) - C_d \cdot \dot{X}_d(t) - K_d \cdot X_d(t) = P_n(t)$$
$$M_d \cdot \ddot{X}_d(t) + C_d [\dot{X}_d(t) - \dot{Y}_n(t)] + K_d [X_d(t) - Y_n(t)] = 0$$